Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin
und
der Biophysikalischen Abteilung des Institutes
für Kariesforschung e.V. Berlin
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans Lenz)

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN DER TOMES'SCHEN KÖRNERSCHICHT IM MENSCHLICHEN DENTIN

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der ehemaligen
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

1970

vorgelegt von
Yin - sheng Kung
aus Anhwei/China

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546510_0075

Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin
und
der Biophysikalischen Abteilung des Institutes
für Kariesforschung e.V. Berlin
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ)

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN DER TOMES'SCHEN KÖRNERSCHICHT IM MENSCHLICHEN DENTIN

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der ehemaligen
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Yin - sheng Kung
aus Anhwei/China

Ehem. Dekan: Professor Dr. med. Herbert L a x

Referent: Prof. Dr. med. dent. Hans L e n z

Korreferent: Professor Dr. med. Hans-Joachim M e r k e r

UNIV. LEIDEN BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der ehem. Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 14.7.1970

M E I N E N E L T E R N

M Y P A R E N T S

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

		Seite
I.	Einleitung	4
II.	Literaturübersicht	5
	1. Das Interglobulardentin	5
	2. Die Tomes'sche Körnerschicht . . .	10
III.	Material und Methode	14
	A. Material	14
	B. Methode	14
	a) Lichtmikroskopische Präparationstechniken	14
	b) Elektronenmikroskopische Präparationstechniken	15
IV.	Ergebnisse	17
	A. Lichtmikroskopische Befunde . . .	17
	B. Elektronenmikroskopische Befunde .	18
V.	Diskussion	22
VI.	Zusammenfassung	36
VII.	Literaturverzeichnis	38
	Lebenslauf	44

I. E I N L E I T U N G

Die Tomes'sche Körnerschicht und das Interglobulardentin werden in der Literatur, mit Ausnahme von wenigen Autoren, als in engstem Zusammenhang stehende Strukturen des Dentins betrachtet.

Sowohl über Struktur als auch Genese der Tomes'schen Körnerschicht werden unterschiedliche Meinungen vertreten.

Folgerungen aus der Tatsache, daß das Interglobulardentin im Kronenbereich nur gelegentlich entlang den Wachstumslinien des Dentins entsteht, die Tomes'sche Körnerschicht aber während des gesamten Wurzelwachstums gebildet wird, sind in der Literatur nicht zu finden.

Aufgabe der vorliegenden Untersuchungen war es daher, die in der Literatur bestehenden offenen Fragen über Struktur und Genese der Tomes'schen Körnerschicht mit Hilfe des hochauflösenden Elektronenmikroskopes einer Klärung näher zu bringen.

II. L I T E R A T U R Ü B E R S I C H T

Als vom normalen Aufbau des Dentins abweichende Bezirke wurden zuerst von CZERMAK (1850) interglobuläre Lücken beobachtet und diese Interglobularräume als Löcher zwischen den verkalkten Globuli des Dentins beschrieben. CZERMAK fand diese interglobulären Strukturen im Kronendentin entlang der Wachstumslinien und im Wurzeldentin parallel zur Dentin-Zement-Grenze.

Da die Interglobularräume im Kronendentin und im Dentin der Wurzel entlang der Dentin-Zement-Grenze in einem grossen Teil der Literatur als in engstem Zusammenhang stehende Strukturen betrachtet werden, erscheint es zweckmäßig, in der Literaturübersicht zuerst das Interglobulardentin allgemein zu behandeln und erst im zweiten Teil der Übersicht die Tomes'sche Körnerschicht speziell zu besprechen und dabei die Ansichten herauszustellen, die von den allgemeinen Deutungen über das Interglobulardentin abweichen und in denen die Tomes'sche Körnerschicht als gesonderte Struktur angesehen wird.

1. Das Interglobulardentin

a) Struktur

Mc. QUILLEN (1866, 1868) beschrieb die Struktur der Interglobularräume eingehender. Nach ihm ist ihre Form sehr unregelmäßig, meist lang und breit und ihre Konturlinien sind aus Kreisabschnitten der verkalkten Globuli zusammengesetzt. Diese Beschreibung wurde in der folgenden Zeit auch von anderen Autoren allgemein bestätigt. Es ist zwar umstritten, ob die einzelnen Globuli im Bereich des Interglobulardentins miteinander verschmelzen (SCHOUR (1960), SICHER (1962)) oder sich nur dicht aneinanderlegen (MEYER (1951, 1958), WALKHOFF (1924)), wobei dann die "Homogenität"

des Dentins durch "SCHALT-Stücke" (MEYER 1951) zustandekommt. Diese befinden sich zwischen den einzelnen Globuli und werden im Normalfall auch mineralisiert. Sie sind aber dann doch noch zu erkennen. Für diese nachträgliche Mineralisation der Interglobularbezirke scheint auch das von verschiedenen Autoren beschriebene geringere Auftreten der Interglobularräume bei älteren Zähnen zu sprechen (WALDEYER (1871), RUDAS (1893, 1901), MORGENSTERN (1897), COULLIAUX (1897).

b) Inhalt der Interglobularräume

Über den Inhalt der Interglobularräume gehen die Meinungen auseinander. Während CZERMAK diese Räume noch als "Lücken", d.h., als echte Hohlräume zwischen den verkalkten Globuli ansah, wiesen später andere Autoren darauf hin, daß der Eindruck leerer Räume nur an ausgetrockneten Schnitten entsteht. Bereits KÖLLIKER (1852) beschrieb diese Artefakte und nahm an, daß in Wirklichkeit diese Räume mit unverkalkter Grundsubstanz des Dentins ausgefüllt seien. Dieser Auffassung schloß sich später die Mehrzahl der Autoren an.

Allerdings variieren die Meinungen etwas, da es mit lichtoptischen Mitteln schwer ist, Einzelheiten innerhalb der Interglobularräume darzustellen. So spricht Mc. QUILLEN (1866) von einer "der Grundsubstanz analogen Struktur", KOLLMANN (1869) von Knorpelsubstanz, wobei er die Grundsubstanz des Dentins meint. RUDAS (1893) beschreibt den Inhalt als homogen oder gekörnt. Aber auch Zellen, deren Inhalt verknorpelt (WALDEYER 1871),werden als Bestandteile der Interglobularräume angenommen.

MORGENSTERN (1906) deutet aus seinen Befunden 3 Typen von Interglobularräumen:

1) Feine, durch Membranen abgegrenzte Räume, in welchen die Grundsubstanz glatt oder porös ist, so daß sie wie leere, nur von Dentinkanälchen durchzogene Räume erscheinen.
2) Rotbraune oder schwarze Pigmentkörnchen enthaltende Räume.
3) Mit Zellen angefüllte, aus Lymphvakuolen entstandene Räume.

In unserer Zeit hält Fanny GOLDBERG (1924) den Inhalt für eine Flüssigkeit, und SCHMIDT (1961) vermutet, daß die "echten Hohlräume" nur von einer dünnen Gewebsschicht bedeckt seien.

Elektronenmikroskopisch wurde das Interglobulardentin in jüngster Zeit von de FAZIO (1963) und HELMCKE (1966) untersucht. Während de FAZIO an entmineralisiertem Material keine kollagenen Fibrillen der Grundsubstanz des Dentins finden konnte und nur granuläre, elektronendichtere polygonale Agglomerate als Inhalt der Interglobularräume beobachtete, konnte HELMCKE in seinen Präparaten die typische Ultrastruktur der kollagenen Fibrillen darstellen.

c) Beziehung der Dentinkanäle zu den Interglobularräumen

Was die Beziehung der Dentinkanäle zu den Interglobularräumen betrifft, so wird von der Mehrzahl der Autoren angegeben, daß die Dentinkanäle durch die Interglobularräume hindurch gehen (KÖLLIKER (1852), Mc. QUILLEN (1866), KOLLMANN (1869), WALDEYER (1871), RUDAS (1893), MEYER (1951), HELMCKE (1966) u.a.). Aber auch abweichende Ansichten sind in der Literatur vertreten.

So schreibt CZERMAK (1850), daß die Dentinkanäle durch die Interglobularräume unterbrochen sind, HANNOVER (1855) beobachtet sie als teils unterbrochen, teils durchgehend. In neuerer Zeit vertritt SCHMIDT (1961) die Ansicht, daß die Dentinkanäle vor den Interglobularräumen abbiegen und sie umgehen.

Auch Veränderungen der durch die Interglobularräume hindurchgehenden Dentinkanäle werden beschrieben. So stellt MEYER (1951) fest, daß die Dentinkanäle innerhalb der Interglobularräume einen größeren Durchmesser haben und mit zunehmendem Alter der Zähne stärker mineralisiert werden.

d) Lokalisation des Interglobulardentins

Als Lokalisation der Interglobularräume werden allgemein 2 Zonen im Dentin beschrieben:

1) Im Kronendentin entlang den Wachstumslinien in einem gewissen Abstand parallel zur Schmelz-Dentin-Grenze. Von einigen Autoren sind aus dieser Lokalisation der Interglobularräume das Zustandekommen des Erscheinungsbildes der Owen'schen Linien bzw. der Wachstumslinien erklärt (CZERMAK 1850, WALDEYER 1871).

2) Im Wurzeldentin parallel zur Dentin-Zement-Grenze. Da im Wurzeldentin die Interglobularräume kleiner sind und zahlreicher auftreten und bei niedriger lichtoptischer Vergrößerung dem Dentin entlang der Dentin-Zement-Grenze ein granuläres Aussehen verleihen, nannte J. TOMES (1877) diese Schicht "the granular layer of dentin" (Ch. S. TOMES 1904). Später wurde diese Schicht nach TOMES benannt. Im deutschsprachigen Schrifttum hat sich die Bezeichnung Tomes'sche Körnerschicht eingebürgert.

e) Genese des Interglobulardentins

Was die Genese des Interglobulardentins betrifft, so wird allgemein angenommen, daß es durch Störungen während der Entwicklung des Dentins entsteht, wobei jedoch über die Art und Weise der Störungen keinerlei Angaben gemacht werden. Die Rückschlüsse, daß Störungen eine Rolle spielen, wurden vor allem aus Befunden gezogen, bei denen festgestellt wurde, daß z.B. bei Rachitis vermehrt Interglobulardentin gebildet wird.

KOLLMANN (1869) zieht aus dem Befund, daß die Interglobularräume nur unregelmäßig auftreten, den Schluß, daß einzelne Odontoblasten in ihrer Tätigkeit durch Störungen so beeinträchtigt werden, daß sie nur die Grundsubstanz bilden, aber die Mineralisation im Bereich dieser Zellen ausbleibt. Ist die Störung vorbei, wird wieder normales Dentin gebildet.

WALDEYER (1871), nach dessen Ansicht das Dentin durch Umwandlung der Odontoblasten gebildet wird, glaubt, daß vereinzelte Odontoblasten verkümmern und sich nicht vollständig in Dentinsubstanz umwandeln und so die Interglobularräume entstehen, die demzufolge nicht vollständig umgewandelte Zellreste enthalten.

MORGENSTERN (1897) macht bei der Mineralisation des Dentins nichtresorbierte Kapillarschlingen bzw. Lymphgefäße für die Entstehung des Interglobulardentins verantwortlich.

WALKHOFF (1901) nimmt an, daß bei der Mineralisation der organischen Substanz des Dentins die Einlagerung der Kalksalze im allgemeinen in Kugelform geschieht. Die Zwischenräume zwischen den Kugeln werden bei der normalen Bildung sofort mit Kalksalzen ausgefüllt. So entsteht im

allgemeinen ein dichtes und gleichartiges Zahnbein. Wenn aber die Kalkeinlagerung nicht in genügender Menge erfolgt, so zeigen sich auch im fertigen Gewebe mehr oder minder große Kugeln, bestehend aus Kalksalzen, zwischen denen große zackige, unverhüllte Zwischenräume verbleiben. Die Zwischenräume enthalten Reste der unverkalkten Grundsubstanz des Zahnbeins.

V. EBNER (1909) führt die Entstehung des Interglobulardentins ebenfalls auf Störungen während der Entwicklung zurück. Er erklärt die Entstehung der typischen Strukturen des Interglobulardentins wie folgt: "Die Grenze des verkalkten Zahnbeins gegen das noch unverkalkte Zahnbein zeigt keine glatte Fläche. Die Verkalkungsgrenze greift vielmehr mit zahlreichen gewölbten bis halbkugeligen oder auch mehr als die Hälfte einer Kugel umfassenden Vorsprüngen - den Zahnbeinkugeln Köllikers - gegen das unverkalkte Zahnbein vor. Beim Fortschreiten der Verkalkung kommt es nun nicht selten vor, daß einzelne kleine Stellen des Zahnbeins überhaupt nicht verkalken und die momentane Verkalkungsgrenze in Form von Zahnbeinkugeln stehen bleibt, worauf neuerlich Verkalkung eintritt, mit kugeligen Vorsprüngen beginnend, die diesmal peripherwärts gegen das bereits verkalkte Zahnbein gerichtet sind. Auf diese Weise kommt es zur Bildung der Interglobularräume, welche dementsprechend, wenn sie in größerer Menge periodisch auftreten, auch am fertigen Zahn die allmähliche Ablagerung des Zahnbeins in immer werdenden Schichten (Konturlinien) erkennen lassen".

2. Die Tomes'sche Körnerschicht

Von vielen Autoren wurde die Tomes'sche Körnerschicht als Fortsetzung des Interglobulardentins in das Wurzel-

dentin betrachtet, in dem die Interglobularräume nur kleiner und zahlreicher vertreten sind.
WALDEYER (1871) spricht von einem Übergehen des Interglobulardentins in die Körnerschicht. MORGENSTERN (1897, 1906), DICKMANN (1925), MEYER (1924), ADLOFF (1930), und viele andere Autoren machen keinerlei Unterschied zwischen der Tomes'schen Körnerschicht und dem Interglobulardentin.

Lediglich HANNOVER (1855) und RUDAS (1893) und WALKHOFF (1901) von den älteren, HANAZAWA (1923) und BENCZE (1927) von den neueren Autoren nehmen gegenüber der Tomes'schen Körnerschicht eine prinzipiell andere Stellungnahme ein.

HANNOVER (1855) identifiziert die Tomes'sche Körnerschicht mit seinem Stratum intermedium, einem ursprünglich hellen, strukturlosen Saum, in dem grobkörnige und undurchsichtige Kalkmassen sich ablagern.

RUDAS (1893) ist der Ansicht, daß die Tomes'sche Körnerschicht nicht mit dem Interglobularraum identisch sei, von dem sie sich in Form, Art und Genese ebenso wie in dem mikroskopischen Bild unterscheidet. Demnach kommen in ihr - im Gegensatz zu dem Interglobularraum - Zellen vor, ferner soll die Tomes'sche Körnerschicht mit dem Zement enger zusammenhängen als mit dem Dentin. Aus diesem Grunde hält er die Tomes'sche Körnerschicht für die erste Schicht des Zementes. Auch fand er keine Dentinkanäle in den Interglobularräumen der Tomes'schen Körnerschicht.

WALKHOFF (1901) sieht die Tomes'sche Körnerschicht als Zone winziger Interglobularräume an, deren Bildungsmechanismus dem des Interglobulardentins entspricht. Aber im Gegensatz zu dem Interglobulardentin, das im Kronenbereich

erst nach Ausbildung einer Schicht normalen Dentins durch eine Störung der Mineralisation entsteht, wird die Tomes' sche Körnerschicht bereits in der ersten Phase der Dentinbildung bzw. Mineralisation gebildet, und zwar im gesamten Bereich des zuerst angelegten peripheren Dentins. Nach WALKHOFF's Ansicht erfolgt die Mineralisation des Dentins in der ersten Phase der Dentinentwicklung schnell, während die später angelegten Schichten des Dentins langsam verkalken. Dadurch kommt es in der ersten Phase in der Zone des zuerst angelegten Dentins zur Ausbildung kleiner Globuli und entsprechend kleiner unverkalkter Zwischenbezirke, während in den späteren Phasen bei der langsameren Verkalkung genügend Zeit zur Ausbildung größerer Globuli und auch größerer Interglobularräume vorhanden ist. WALKHOFF meint weiter, daß die im gesamten peripheren Dentin vorhandene Körnerschicht im Bereich der Krone bei der Schmelzbildung resorbiert wird und dadurch im schmelzbedeckten Teil des voll ausgebildeten Zahnes nicht mehr vorhanden ist. Im Wurzelbereich, längs der Dentin-Zement-Grenze jedoch bleibt diese Zone erhalten. WALKHOFF sieht aber daher in der Tomes'schen Körnerschicht lediglich ein Fortbestehen der ersten Entwicklungsstufe des verkalkenden Dentins.

Auch v. EBNER's (1909) Auffassungen über die Tomes'sche Körnerschicht lassen sich in ähnlicher Weise interpretieren.

HANAZAWA (1923) ist ebenfalls der Ansicht, daß die Tomes' sche Körnerschicht "nicht eine Gruppe kleinerer Interglobularräume" ist. Bei der Mehrzahl der Körnchen fehle die typische Begrenzung durch regelmäßig gebogene Linien, die Formen seien unregelmäßig, birnen-, keulen-, sternförmig, auch vieleckig mit Fortsätzen wie Knochenhöhlen; sie seien zudem alle mit den Endungen der Dentinkanäle verbunden. Er sieht die Tomes'sche Körnerschicht lediglich als Zone, in der die Dentinkanäle enden, an, und nicht als Interglobularräume. Er vergleicht die "Körner" der Tomes'schen

Körnerschicht mit den Schmelzspindeln bzw. den kolbenförmigen Fortsätzen.

Eine von den Ansichten der anderen Autoren abweichende Deutung über die Genese der Tomes'schen Körnerschicht, die in ihr, wie beim Interglobularraum den Ausdruck einer Entwicklungsstörung sahen, gibt BENCZE (1927). Er nimmt an, daß die Tomes'sche Körnerschicht dadurch entsteht, daß in der Periode, in der das Dentin bereits an der Wurzelgegend gebildet ist und die Hertwig'sche Epithelscheide sich schon in Epithelnester aufgelöst hat, aber die Zementbildung noch nicht begonnen hat, auf der Oberfläche des Dentins eine faserige Grundsubstanz abgelagert wird, die später verkalkt, in die Zellen der Umgebung eingeschlossen werden, das heißt, er erblickt in der Tomes'schen Körnerschicht eine peripher auf das Dentin aufgelagerte intermediäre Schicht des Zementes.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß für die Entstehung der Interglobularräume im Dentin Entwicklungsstörungen, die nicht näher definiert werden können, verantwortlich gemacht werden. Von der Mehrzahl der Autoren werden die gleichen Störungen für die Bildung der Tomes'schen Körnerschicht angenommen. Folgerungen aus der Tatsache, daß die Interglobularräume entlang den Wachstumslinien auftreten und die Interglobularräume demzufolge auf eine vorübergehende Störung hinweisen, während die Tomes'sche Körnerschicht während des gesamten Wurzelwachstums entsteht und so auf eine permanente Störung schließen ließe, sind in der Literatur nicht zu finden. Die Genese der Tomes'schen Körnerschicht muß daher als ungeklärt betrachtet werden. Aber gerade diese aufgezeichneten Unterschiede dürften den Schlüssel zum Verständnis der Bildung der Tomes'schen Körnerschicht bilden.

III. M A T E R I A L U N D M E T H O D E

A. M a t e r i a l

Für die Untersuchungen wurden extrahierte ein- und mehrwurzelige, kariesfreie bleibende Zähne verschiedener Entwicklungsstufen verwendet. Die Zähne ließen in den interessierenden Abschnitten lichtmikroskopisch keine pathologischen Veränderungen erkennen.

Die Präparationen erfolgten entweder sofort nach der Extraktion oder nach vorläufiger Aufbewahrung der Zähne in einer Mischung aus 60 Teilen 95%igem Alkohol, 15 Teilen Glyzerin und 25 Teilen destilliertem Wasser.

B. M e t h o d e

a) Lichtmikroskopische Präparationstechniken

Aus den Zähnen wurden mit einer Diamantkreissäge Scheiben von 500 - 700 y Stärke unter ständiger Wasserkühlung herausgeschnitten. Es wurden sowohl Schnitte in vertikaler als auch in horizontaler Richtung angefertigt. Anschließend wurden diese Scheiben mit der Hand auf einer Glasplatte mit Carborundumpulver geschliffen, bis die Dicke von 50 - 100 y erreicht war. Eine Austrocknung der Präparate wurde sorgfältig verhindert. Nach gründlicher Spülung kamen die Schnitte unmittelbar wieder in die Konservierungsflüssigkeit. Die verschiedenen interessierenden Partien von Schnittpräparaten wurden anschließend unter dem Durchlicht- und Binokularlupenmikroskop markiert.

b) Elektronenmikroskopische Präparationstechniken

Die bereits lichtoptisch untersuchten mineralisierten Präparate wurden für die elektronenmikroskopische Beobachtung in folgender Weise vorbereitet:
Die Präparate wurden nach gründlicher Reinigung in Wasser paßgerecht für die Einbettung in Gelatinekapseln zugeschnitten. Anschließend wurden sie 18 Stunden lang in mit Veronalazetat gepufferter isotonischer 1%iger Osmiumtetroxydlösung fixiert und eine Stunde in Tyrodelösung gewaschen. Es folgte eine stufenweise Entwässerung in der Alkoholreihe mit ansteigender Konzentration: 1 Stunde in 90%igem, 1 Stunde in 95%igem, 2 x 1 Stunde in absolutem Alkohol.

Die verwendete Methacrylatmischung für die Einbettung enthielt entstabilisiertes n-Butylmethacrylat und Methylmethacrylat im Verhältnis 8 : 1 sowie einen Benzoylperoxyd-Initiator-Zusatz. Zur Durchtränkung der Präparate wurden diese bei Zimmertemperatur zweimal je 30 Minuten in reine Methacrylatmischung gelegt, im Methacrylatbad 15 Minuten mit der Wasserstrahlpumpe im Exsikkator evakuiert und nochmals 30 Minuten in ein frisches Methacrylatbad gebracht. Nach beendeter Imprägnation wurden die Präparate einzeln in aufrechtgestellte und mit Methacrylatmischung vollgefüllte zylinderförmige Gelantinekapseln übertragen und eine 12 - 16stündige Polymerisation bei 60°C im Trockenschrank durchgeführt. Innerhalb weniger Tage waren die Präparate soweit erhärtet, daß sie nach Entfernung der Gelantinehülle zur Schnittherstellung vorbereitet werden konnten.

Für die Ultradünnschnittmikrotome mußten die Präparate so angespitzt werden, daß die lichtmikroskopisch ausge-

wählte Schicht in einer Pyramidenspitze lag. Es wurden mit Diamantmessern bei einem Schneidewinkel von 50° und einem Einstellwinkel von 4° am Ultramikrotom (LKB Ultratome, Typ 4800) Dünnschnittserien von 600 - 700 Å Dicke hergestellt und auf Kupfernetzen, die mit Formvar-Filmen überdeckt waren, aufgefangen. Die Präparate wurden von einem Elektronendurchstrahlungs-Mikroskop der Firma Siemens & Halske AG. vom Typ "Elmiskop I A" bei einer Strahlspannung von 60 - 80 KV untersucht.

IV. E R G E B N I S S E

A. Lichtmikroskopische Befunde

Auf Schliffpräparaten von menschlichen Zähnen läßt sich im Durchlichtpräparat die Tomes'sche Körnerschicht sehr gut darstellen. Sie besteht aus einer Vielzahl von kleinen und kleinsten , im Durchlichtpräparat bei niedriger Vergrößerung schwarz erscheinenden körnchenartigen Strukturen, die im Wurzelbereich des Zahnes entlang der Dentin-Zement-Grenze im Dentin liegen (Abb. 1). Bei stärkerer Vergrößerung läßt sich erkennen, daß die körnchenartigen Strukturen unregelmäßig geformt sind und vielfach an die wesentlich größeren Interglobularräume des Kronendentins erinnern (Abb. 2 - 4). Da diese körnchenartigen Strukturen im entmineralisierten Schnitt nicht mehr zu erkennen sind, wird angenommen, daß es sich wie bei den Interglobularräumen um unverkalkte Bezirke des Dentins handelt. Einzelheiten innerhalb der Grundsubstanz der Tomes'schen Körnerschicht lassen sich jedoch mit lichtoptischen Mitteln nicht erkennen.

Die Tomes'sche Körnerschicht liegt stets in der äußersten, dem Zement anliegenden Zone des Dentins. Im lichtoptischen Bild erscheinen die Beziehungen zwischen Körnerschicht und Dentinkanälchen sehr unterschiedlich. So beginnen einerseits die Dentinkanälchen unterhalb der Körnerschicht, andererseits hat man den Eindruck, als ob Dentinkanäle aus einzelnen Räumen der Körnerschicht entstehen und diese Körner wie Auftreibungen der Dentinkanäle aussehen. Auch kann man beobachten, daß die Dentinkanälchen durch die Körnerschicht hindurchgehen, wobei die Kanälchen entweder durch die einzelnen Räume ziehen oder ihnen ausweichen. Weder die Grenze zwischen Zement und Dentin noch der Beginn des kanalisierten Dentins lassen sich auf lichtoptischen Schnitten eindeutig bestimmen (Abb. 1 - 2).

B. Elektronenmikroskopische Befunde

Im Gegensatz zu den lichtoptischen Befunden läßt sich auf Ultradünnschnitten von nicht entmineralisiertem Dentin aus dem Wurzelbereich die Grenze zwischen Dentin und Zement eindeutig erkennen. Abb. 5 zeigt die Grenze zwischen Dentin und Zement. Das Zement im linken oberen Teil des Bildes hebt sich deutlich von dem darunterliegenden Dentin ab. Es ist charakterisiert durch die im Verhältnis zum Dentin wesentlich kleineren Apatitkristalle, die dicht gepackt liegen. Die mineralisierten Fibrillen der organischen Substanz des Zementes sind als Faserzüge über längere Strecken zu verfolgen. Gelegentlich tritt die kollagene Querstreifung zutage. Im Dentin dagegen ist keine so klare Orientierung der kollagenen Fibrillen zu erkennen. Die einzelnen Fibrillen sind nur über sehr kurze Distanzen zu verfolgen und scheinen in allen Richtungen zu verlaufen. Die Kristalle des Dentins sind größer als die des Zementes. Die Grenze zwischen Dentin und Zement ist unregelmäßig. Daß es sich bei der Abb. 5 tatsächlich um die Grenze zwischen Zement und Dentin handelt, beweisen die Aufnahmen 6 und 7, die Schnitte aus der azellulären Zementschicht 5 mm von der Schmelz-Zement-Grenze entfernt (Abb. 6) und dem normalen zirkumpulpären Dentin (Abb. 7) zeigen.

Vergleicht man das normale zirkumpulpäre Dentin (Abb. 8) mit dem unmittelbar unter der Dentin-Zement-Grenze liegenden Dentin (Abb. 9), so fällt auf, daß letzteres nicht kanalisiert ist. Weiterhin sind im Dentin nahe der Zement-Dentin-Grenze geringe Unterschiede im Mineralisationsgrad zu erkennen, die dem Dentin hier eine globuläre Musterung verleihen. Zwischen einzelnen "Globuli" heben sich hellere, weniger mineralisierte Säume ab.

Geht man mit den Ultradünnschnitten von der Zement-Dentin-Grenze aus nur wenige y tiefer in das Dentin, so verstärkt sich allmählich der "globuläre" Eindruck des Dentins und die mindermineralisierten Säume zwischen den einzelnen Globuli werden zu unverkalkten Spalten (Abb. 10, 11). Häufig sind dann auch außer den Spalten zwischen den Globuli in Bezirken, in denen mehrere Globuli zusammentreffen, nichtmineralisierte Räume anzutreffen. Form und Größe dieser "Interglobularräume" variieren stark. Neben als "Interglobularräume" erkennbaren Bezirken, die im Zwickel von mehreren Globuli unverkalkt bleiben, treten auch langgestreckte und spaltenartige unverkalkte Bezirke auf, die zwischen größeren Globuli liegen. Auch Variationen all dieser Formen sind zu finden (Abb. 12 - 18).

Innerhalb der einzelnen unverkalkten Räume sind Teile der organischen Matrix des Dentins zu erkennen. Die typische Querstreifung des Kollagens konnte jedoch nicht erkannt werden. Wahrscheinlich ist dies durch mangelnde Fixierung dieser mitten im mineralisierten Gewebe liegenden Bereiche bedingt, in die das Fixiermittel nicht diffundieren konnte. Daß es sich bei den organischen Strukturen um kollagene Fibrillen handeln muß, ist jedoch aus der Querstreifung der unmittelbar angrenzenden, bereits mineralisierten Bereiche zu schließen.

In ihrer Gesamtheit entsprechen diese nicht mineralisierten Räume und Spalten, die entlang der Dentin-Zement-Grenze im Wurzelbereich des Zahnes anzutreffen sind, der aufgrund von lichtoptischen Untersuchungen beschriebenen Tomes'schen Körnerschicht. Denn die oben beschriebenen nicht mineralisierten Räume und Spalten waren bei der

elektronenmikroskopischen Darstellung nur in den Bereichen anzutreffen, die bei der vergleichenden lichtoptischen Untersuchung an identischen Stellen des gleichen Präparates das Erscheinungsbild der Tomes'schen Körnerschicht zeigten.

Es ist jedoch zu bedenken, daß mit lichtoptischen Mitteln nur die größeren Räume und Spalten erfaßt werden können, während bei der elektronenmikroskopischen Untersuchung alle Unterschiede im Verkalkungsgrad im Bereich der Körnerschicht erfaßt werden können, d.h., daß die Körnerschicht aus einer viel größeren Zahl von unverkalkten Räumen und Spalten besteht, als diesbisher aus lichtoptischen Untersuchungen bekannt war.

Ein entscheidender Befund bei der elektronenmikroskopischen Untersuchung ist weiterhin die Tatsache, daß im Bereich der Körnerschicht keine Dentinkanäle anzutreffen sind, d. h., daß die Körnerschicht im Bereich des nichtkanalisierten Dentins nahe der Dentin-Zement-Grenze liegt. Nur in wenigen Fällen konnten gelegentlich vereinzelte Dentinkanälchen gefunden werden. Bisher wurde aufgrund lichtoptischer Untersuchungen der Eindruck gewonnen, daß die Tomes'sche Körnerschicht im Bereich des kanalisierten Dentins liegt. Den Lagebeziehungen zwischen Tomes'scher Körnerschicht und den Dentinkanälchen wurde besondere Beachtung bei der Deutung der Genese der Tomes'schen Körnerschicht geschenkt.

Bei allen Präparaten konnte festgestellt werden, daß das kanalisierte Dentin erst unterhalb, d.h., pulpawärts von der Tomes'schen Körnerschicht beginnt. Dabei treten zuerst nur wenige, etwa 0,3 - 0,5 y dicke Kanälchen auf, die erst weiter pulpawärts ihren normalen Durchmesser erreichen. Damit unterscheidet sich das Wurzeldentin im

Bereich der Dentin-Zement-Grenze wesentlich von dem Kronendentin nahe der Schmelz-Dentin-Grenze. Hier konnte von anderen Autoren (LENZ, 1958, 1959)(NYLEN und SCOTT 1958, 1960) und auch bei eigenen Untersuchungen immer wieder festgestellt werden, daß das kanalisierte Dentin unmittelbar in Nähe der Schmelz-Dentin-Grenze beginnt. Bei elektronenmikroskopischen Untersuchungen von der Dentinentwicklung konnte in diesem Bereich festgestellt werden, daß die Odontoblasten unmittelbar nach ihrer Differenzierung beginnen Odontoblastenfortsätze auszubilden (Abb. 19).

V. D I S K U S S I O N

A. Lichtmikroskopische Untersuchungen

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen der Tomes'schen Körnerschicht ergaben erwartungsgemäß gegenüber den bisherigen auf lichtoptischer Basis beruhenden Erkenntnissen keinerlei neue Gesichtspunkte.

Aus den Aufnahmen lassen sich je nach der angewandten Untersuchungstechnik die in der bisherigen Literatur vertretenen Auffassungen deuten, ohne jedoch für diese oder jene Auffassung Stellung nehmen zu können. Daß es sich bei den Körnern der Tomes'schen Körnerschicht um echte Interglobularräume handelt - ein Eindruck, der bei der Untersuchung des Interglobulardentins im Kronenbereich ohne weiteres bei der lichtoptischen Darstellung entsteht - läßt sich bei der Betrachtung der Konturen der einzelnen "Körner" der Tomes'schen Körnerschicht nicht ohne weiteres aus den Aufnahmen herausdeuten. Bei der Mehrzahl fehlt, wie bereits HANAZAWA (1923) betonte, die typische Begrenzung durch regelmäßig gebogene Linien der Kreisabschnitte der Globuli. Die Formen der einzelnen Elemente der Tomes'schen Körnerschicht erscheinen vielmehr unregelmäßig. Bei der Winzigkeit der einzelnen Teile ist dies nicht verwunderlich, da ihre Größe oft an der Grenze des lichtoptischen Auflösungsvermögens liegt und sich daher nur schwer die typischen Kugelsegmente erkennen lassen.

Abhängig von der Einstellung der Präparatebene läßt sich die Lage der Tomes'schen Körnerschicht entlang der Dentin-Zement-Grenze sowohl innerhalb des kanalisierten Dentins als auch im Bereich des noch nicht kanalisierten Dentins darstellen. Damit lassen sich sowohl die Deutungen

der Mehrzahl der Autoren, nach denen die Tomes'sche Körnerschicht im Bereich des kanalisierten Dentins liegt und somit die gleichen Verhältnisse wie beim Interglobulardentin im Kronenbereich vorliegen, als auch die von RUDAS (1901) vertretene Ansicht, nach der die Tomes'sche Körnerschicht eine auf das Dentin aufgelagerte Schicht "intermediären Zementes" ist, bestätigen. Es ist jedoch nicht möglich, einwandfrei zu beweisen, wie die wirkliche Lage der Tomes'schen Körnerschicht in Bezug zum kanalisierten Dentin und Zement ist.

Die Beziehung der Dentinkanäle zu den einzelnen Elementen der Tomes'schen Körnerschicht lassen jedoch die Deutung, daß die Körnerschicht im Bereich des kanalisierten Dentins liegt, aufgrund lichtoptischer Untersuchung als wahrscheinlicher erscheinen; denn auf den meisten Abbildungen hat man den Eindruck, als ob die Dentinkanälchen durch die "Räume" der Körnerschicht hindurchgehen oder in ihnen enden (Abb. 3 und 4). Auch sieht es zuweilen so aus, als ob die "Räume" Ausweitungen der endenden Dentinkanälchen sind. Ein Befund, der z.B. HANAZAWA (1923) veranlaßt hat, die Elemente der Tomes'schen Körnerschicht mit den Schmelzspindeln bzw. den kolbenförmigen Fortsätzen der Dentinkanäle im Schmelz zu vergleichen und im Gegensatz zum Interglobulardentin im Kronenbereich die Tomes'sche Körnerschicht als Zone der Endungen der Dentinkanäle zu bezeichnen. Über die Natur des Inhalts der einzelnen "Körner" dieser Schicht lassen sich aufgrund der angewandten Untersuchungsmethoden keine Aussagen machen.

Faßt man die Ergebnisse der lichtoptischen Untersuchungen zusammen und vergleicht sie mit den bisher aus der Literatur bekannten Befunden, so läßt sich sagen, daß zwar fast

alle bisher vertretenen Auffassungen sich mehr oder weniger klar - je nachdem, welche Kriterien bzw. Einzelbefunde man für entscheidend ansieht - bestätigen lassen. Eine eindeutige Stellungnahme zu den entscheidenden Problemen läßt sich jedoch nicht erreichen.

Zur Klärung der noch offenen Fragen erscheint daher eine gründliche elektronenmikroskopische Untersuchung der Tomes'schen Körnerschicht erfolgversprechender. Die lichtmikroskopischen Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit dienten daher mehr als Orientierungshilfe und Vergleichsmöglichkeit.

B. Elektronenmikroskopische Untersuchungen

Der wesentliche Vorteil bei der elektronenmikroskopischen Untersuchung der Tomes'schen Körnerschicht besteht darin, daß es möglich ist, äußerst dünne (ca. 200 - 400 Å) Schnitte von nicht entmineralisiertem Material herzustellen und diese mittels des hochauflösenden Elektronenmikroskops zu untersuchen. Dadurch war es möglich, zu vielen Punkten, die bisher bei der Erforschung der Tomes'schen Körnerschicht ungeklärt blieben und, wie in der Literaturübersicht bereits aufgezeichnet, zu unterschiedlichen Deutungen über Struktur und Genese Anlaß gaben, eindeutig Stellung zu nehmen.

Es handelt sich hierbei u.a. um folgende Punkte:

1. Lokalisation der Tomes'schen Körnerschicht;
2. Struktur der Tomes'schen Körnerschicht (Interglobulardentin oder gesonderte Struktur);
3. Inhalt der Tomes'schen "Körner";
4. Beziehung der Dentinkanäle zur Tomes'schen Körnerschicht.

Im elektronenmikroskopischen Bild läßt sich Zement von Dentin eindeutig unterscheiden (Abb. 5, 6, 7) und damit die Tomes'sche Körnerschicht klar dem Dentin zuordnen. Daß eine solche Zuordnung bisher so eindeutig ohne weiteres nicht möglich war, geht aus den Deutungen von RUDAS (1893) und BENCZE (1927) hervor. Diese Autoren hielten die Tomes'sche Körnerschicht für die erste Schicht des Zementes bzw. für eine peripher auf das Dentin aufgelagerte Schicht "intermediären" Zementes.

In der Mehrzahl der auf lichtoptischer Untersuchung basierenden Arbeiten werden die Strukturen der Tomes'schen Körnerschicht mit dem Interglobulardentin gleichgestellt und die Tomes'sche Körnerschicht als Fortsetzung des Interglobulardentins des Kronenbereiches an der Dentin-Zement-Grenze im Wurzeldentin angesehen (WALDEYER 1871, MORGENSTERN 1897, 1906, DICKMANN 1925, u.a.). RUDAS (1901), WALKHOFF (1924) und HANAZAWA (1923), u.a. dagegen nahmen gegenüber der Tomes'schen Körnerschicht andere Stellungnahmen ein. Die Gründe hierfür sind außer der oben erwähnten Zuordnung der Tomes'schen Körnerschicht zum Zement auch Unterschiede in der Struktur der einzelnen Elemente der Tomes'schen Körnerschicht im Vergleich mit dem Interglobulardentin. So werden u.a. die einzelnen Strukturen der Tomes'schen Körnerschicht nicht als Interglobulardentin angesehen, da ihnen die typische Begrenzung durch Kugelsegmente fehle und sie eher mit den Schmelzspindeln bzw. kolbenförmigen Fortsätzen der Dentinkanäle im Schmelz verglichen werden können.

Durch die elektronenmikroskopische Darstellung der Tomes'schen Körnerschicht, die eindeutig die Formen auch der kleinsten "Körner" dieser Schicht wiedergibt, können all

die eben angeführten Deutungen in den Bereich der Fabel verwiesen werden. Sehr klar geht aus den elektronenmikroskopischen Aufnahmen hervor, daß es sich bei der Tomes'schen Körnerschicht tatsächlich um sogenannte Interglobularräume bzw. -bezirke des Dentins handelt. Die Vielfalt der Umrisse zeigen deutlich die Abbildungen 12 - 18. Auf allen Abbildungen ist klar zu erkennen, daß die nichtmineralisierten Teile des Dentins von sogenannten Kugelsegmenten des mineralisierten Dentins begrenzt sind, die ihnen die typische Struktur des Interglobulardentins verleihen. Bei dieser Gelegenheit muß auch zu dem Begriff "Globuli" Stellung genommen werden. Aufgrund des lichtoptischen Eindrucks wurde ursprünglich von den älteren Autoren angenommen, daß das Dentin in der Form mineralisiere bzw. verkalke, daß die von den Zellen ausgeschiedenen Kalksalze sich in globulärer Form verfestigen oder daß, wie polarisationsoptische Untersuchungen vermuten lassen, von einem Kristallisationszentrum die einzelnen Kristalle radiär in die Umgebung vorwachsen. Weder von einer "globulären Verfestigung" noch von einem rein radiären Wachstum der einzelnen Kristalle kann jedoch die Rede sein. Es scheint vielmehr so zu sein, daß bei der Mineralisation des Dentins, besonders bei Beginn der Dentinbildung nahe der Schmelz-Dentin-Grenze oder der Dentin-Zement-Grenze sich Kristallisationszentren bilden, von denen die Mineralisation ausgeht. Die sich vergrößernden Mineralisationszentren haben zwar eine annähernde kugelartige bzw. globuläre Form, jedoch die elektronenmikroskopischen Aufnahmen zeigen, daß die einzelnen Globuli aus einer Vielzahl von nadelartigen Hydroxylapatit - kristallen bestehen. Diese wachsen in die Umgebung vor, jedoch ist ihre Orientierung nicht so rein radiärstrahlig

wie es aus polarisationsoptischen Untersuchungen gedeutet wurde. Besonders im Bereich der Tomes'schen Körnerschicht und des Interglobulardentins im Kronendentin wachsen die einzelnen Globuli nicht so weit aus, daß sie sich berühren oder miteinander verwachsen. Es bleiben so nichtmineralisierte Bereiche übrig. Sie bilden die eigentliche Struktur der Tomes'schen "Körner", die in ihrer Gesamtheit die Zone der Tomes'schen Körnerschicht darstellen. Aus welchen Gründen es nun zu solch einer unvollständigen Mineralisation kommt, soll nach Besprechung der übrigen Punkte später erörtert werden.

Auf jeden Fall beweisen die elektronenmikroskopischen Aufnahmen, daß die Tomes'sche Körnerschicht aus nichtmineralisiert gebliebenen Bereichen des Dentins besteht.

Auch die Frage nach dem Inhalt dieser "Räume" läßt sich nunmehr klar beantworten. Weder Zellen noch Membranen oder rudimentäre Teile von Gefäßen, wie es zum Teil in der Literatur angegeben wird, konnten festgestellt werden. Die Interglobularräume der Tomes'schen Körnerschicht sind nur unverkalkt gebliebene Bereiche der anscheinend normalen Grundsubstanz des Dentins. Anscheinend "normal" deshalb, weil morphologisch gegenüber dem normalen Dentin keine signifikanten Unterschiede in der kollagenen Grundsubstanz zu erkennen sind. Es muß jedoch angenommen werden, daß morphologisch nicht sichtbare Unterschiede vorhanden sind, um die ausbleibende Mineralisation dieser Bereiche erklären zu können.

Auch über die Beziehung der Dentinkanäle zu den Interglobularräumen der Tomes'schen Körnerschicht besteht keine Klarheit. Es wird zwar von der Mehrzahl der Autoren angegeben, daß im Bereich der Tomes'schen Körnerschicht wie

beim Interglobulardentin die Dentinkanäle durch die Interglobularräume hindurchgehen. Daraus wird übrigens auch der Schluß gezogen, daß das Interglobulardentin und die Tomes'sche Körnerschicht in Struktur und Genese identisch sind und sich nur durch die topographische Lage und Größe der Interglobularräume unterscheiden. Nach anderen Beobachtungen sollen die Dentinkanäle durch die Interglobularräume der Tomes'schen Körnerschicht unterbrochen (CZERNAK 1850), teils unterbrochen und teils durchgehend sein (HANNOVER 1855). Auch wird berichtet, daß sie vor den Interglobularräumen abbiegen und diese umgehen oder mit Ausweitungen in der Tomes'schen Körnerschicht enden (HANAZAWA 1923). Wie schon bei den anderen angeschnittenen Punkten erbrachte auch hier die elektronenmikroskopische Untersuchung eine Klärung. Es zeigte sich bei allen untersuchten Präparaten, daß die Strukturen der Tomes'schen Körnerschicht im Bereich des nichtkanalisierten Dentins liegen und das kanalisierte Dentin erst jenseits der Tomes'schen Körnerschicht gebildet wird. Gerade dieser Befund, der in keiner der bisherigen Arbeiten in der Literatur zu finden ist, ist in Verbindung mit der Klärung der anderen offenen Fragen entscheidend zum Verständnis von Struktur und Genese der Tomes'schen Körnerschicht.

Welche Folgerungen sind aus den eben aufgeführten elektronenmikroskopischen Befunden zu ziehen?
Bei den bisherigen Überlegungen zur Klärung der Struktur und Genese der Tomes'schen Körnerschicht bildeten folgende Überlegungen die Ausgangsbasis:

1. Die Struktur des Interglobulardentins und der Tomes'schen Körnerschicht wurde als gleich betrachtet und demzufolge beide Strukturen als gleichartig angesehen,

die sich nur durch die topographische Lage und Größe der einzelnen Interglobularräume unterscheiden und folglich die gleiche Genese haben, d.h., durch Störungen während der Mineralisation des Dentins entstehen.

2. Interglobulardentin und Tomes'sche Körnerschicht werden als verschiedene Strukturelemente angesehen. Dabei wird angenommen, daß zwar im gesamten Bereich des Dentins eine Tomes'sche Körnerschicht gebildet werde, die aber im Kronenbereich entlang der Schmelz-Dentin-Grenze durch Resorption des peripheren Dentins während der Schmelzbildung verloren geht und nur noch im Wurzelbereich entlang der Dentin-Zement-Grenze erhalten bleibt (DICKMANN 1925, WALKHOFF 1901). Unabhängig davon wird durch Entwicklungsstörung das Interglobulardentin im Kronenbereich gebildet. Andere Ansichten gehen dahin, daß die Tomes'sche Körnerschicht dem Zement zugeordnet wird (RUDAS 1893, BENCZE 1927) oder durch nichtresorbierte Rudimente von Blut- oder Lymphgefäßen der Pulpa zustande kommt und damit ebenfalls unabhängig von der Entstehung des Interglobulardentins ist (MORGENSTERN 1897, 1909). Interglobulardentin und Tomes'sche Körnerschicht werden demzufolge eine unterschiedliche Genese zugeschrieben.

Eine Klärung über die Genese der Tomes'schen Körnerschicht konnte also bisher nicht erreicht werden. Hervorgehoben werden muß, daß bisher nirgends in Betracht gezogen wurde, daß das Interglobulardentin eine vorübergehende Störung der Dentinentwicklung im Kronendentin darstellt, die unter bestimmten Voraussetzungen vorkommen kann; die Tomes'sche Körnerschicht aber eine regelmäßig während des gesamten Wurzelwachstums auftretende Störung des Dentinaufbaus bildet.

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Tomes' schen Körnerschicht erbrachten gegenüber den bisherigen lichtmikroskopischen Befunden eine Klärung in wesentlichen Fragen. Davon ist besonders der Befund, daß die Tomes'sche Körnerschicht im Bereich des nichtkanalisierten Dentins liegt, von Bedeutung. Er gibt den Hinweis, daß eine Klärung der Entstehung der Tomes'schen Körnerschicht nur durch Einbeziehung der Dentinentwicklung in die Betrachtung zu erreichen ist.

DICKMANN (1925) weist zwar daraur hin, daß diese Einbeziehung von wesentlicher Bedeutung sein könnte, aber wie er besonders hervorhebt, hat er selbst "leider viel zu wenig" die Dentingenese mit in Betracht gezogen. Dergleichen läßt sich von allen anderen Autoren sagen, die sich mit der Tomes'schen Körnerschicht und dem Interglobulardentin beschäftigt haben.

Durch die Anwendung des Elektronenmikroskops ist es möglich geworden, alle Phasen der Dentinentwicklung bis ins feinste Detail zu erfassen. Durch die Darstellung des zwischen lichtoptisch erkennbarer Struktur und dem Makromolekül gelegenen Organisationsbereiches der Zelle lassen sich Aussagen über den jeweiligen Funktionsstand der Zelle machen.

Elektronenmikroskopische Untersuchungen ergaben, daß zwischen den Strukturen der Odontoblasten beim Einsetzen der Dentinbildung im Kronenbereich und im Wurzelbereich Unterschiede bestehen (LENZ 1958, 1959, SELVIG 1963, REITH 1968, NYLEN und SCOTT 1959, 1960, u.a.).

Im Kronenbereich differenzieren sich unter den Zellen des inneren Schmelzepithels der Schmelzorgane aus den

Mesenchymzellen der Zahnpapille die Odontoblasten. Die Zellen verlängern sich und bekommen ein säulenartiges Aussehen und der Zellkern nimmt eine basale Lage ein. Im Ergastoplasma bilden sich die geformten Elemente besonders stark aus. So enthält die Zelle ein stark ausgeprägtes endoplasmatisches Retikulum, die Golgiregion ist besonders groß, ferner sind vermehrt Mitochondrien im Cytoplasma anzutreffen. All diese Elemente deuten auf die Aktivität der Odontoblasten hin (Synthese der Dentingrundsubstanz). An der der Basalmembran des Schmelzepithels zugewandten Seite beginnen die Odontoblasten in wenigen y Abstand von der Basalmembran Odontoblastenfortsätze auszubilden. Zur gleichen Zeit entstehen zwischen Basalmembran und Zelle aus dem von den Zellen ausgeschiedenen Material die kollagenen Fibrillen der Dentingrundsubstanz. Nach Ausbildung einer nur wenige y dicken Schicht von Praedentin beginnt bereits die Mineralisation.

Einen Überblick von dieser Phase der Dentinbildung gibt die Abb. 19.

Im Bereich der Hertwig'schen Epithelscheide (d.h., der künftigen Wurzel) erfolgt in ähnlicher Weise die Dentingenese durch die Odontoblasten. Jedoch sind hier im Gegensatz zur Dentinbildung im Bereich des Schmelzorgans sehr wesentliche Unterschiede festzustellen.

Im Bereich der Hertwig'schen Epithelscheide, wo äußeres und inneres Schmelzepithel einander unmittelbar berühren und daher keine Schmelzpulpa vorhanden ist, sind die Zellen des inneren Schmelzepithels nicht zu Ameloblasten differenziert. Auch ist der Einfluß des Epithels der Hertwig'schen Epithelscheide auf das Mesenchym der Zahnpapille anscheinend nicht so groß, so daß hier die Diffe-

renzierung der Odontoblasten langsamer erfolgt. Die Zellen sind anfangs, wie auch schon aus lichtoptischen Untersuchungen her bekannt, nicht so säulenartig gestreckt, sondern haben eine mehr kubische Form. Auch die geformten Elemente des Ergastoplasmas sind nicht so stark ausgeprägt wie bei den Odontoblasten in unmittelbarer Nähe der Ameloblasten. Bei Einsetzen der Fibrillogenese haben sie noch nicht den hohen Differenzierungsgrad wie die Odontoblasten im Kronenbereich. So werden unter anderem die Odontoblastenfortsätze erst ausgebildet, wenn eine etwa 100 - 300 y starke Schicht vom Dentin gebildet worden ist. Das von diesen Zellen produzierte erste Dentin unterscheidet sich von dem der Krone durch die nichtkanalisierte Dentinschicht - sie ist im Kronenbereich nicht vorhanden bzw. nur wenige y dick - und durch Unterschiede im Mineralisationsgrad. So verbleiben in dieser Zone des ersten Dentins der Wurzel viele Stellen der Dentingrundsubstanz unverkalkt. Die Summe dieser mindermineralisierten Bezirke bildet die Tomes'sche Körnerschicht. Entsprechend der physiologischen Variationsbreite ist die Tomes'sche Körnerschicht mehr oder weniger ausgeprägt.

Zu den gleichen Ergebnissen gelangt man, wenn man aus den Strukturen des Kronen- und Wurzeldentins die Entwicklung dieser Teile rekonstruiert.

Welche Folgerungen sind aus diesen Betrachtungen über die Dentingenese für die Entstehung der Tomes'schen Körnerschicht zu ziehen?

Die Beobachtungen über die Unterschiede in der Dentinentwicklung in den verschiedenen Bezirken des Zahnes deuten auf die entscheidene Rolle des Epithels hin, die dies Ge-

webe auf die Differenzierungsprozesse ausübt, die zur Bildung des Dentins führen. Sie sind die entscheidenden Vorbedingungen für die Hartsubstanzbildung. Diese nicht direkt darstellbaren Einflüsse konnten in zahlreichen experimentellen Arbeiten bewiesen werden. Hier sind vor allem die Arbeiten von GLASSTONE (1954, 1958, 1962) zu nennen.

Die verminderte Wirkung des nicht ausdifferenzierten inneren Schmelzepithels der Hertwig'schen Epithelscheide führt im Gegensatz zur Wirkung der hochdifferenzierten Ameloblasten im Bereich des Schmelzorgans zunächst zur Ausbildung von nicht voll differenzierten Ameloblasten, die ein zunächst nicht vollwertiges Dentingewebe produzieren, das sich von der ersten Dentinschicht der Krone dadurch unterscheidet, daß es über einen großen Bereich nicht kanalisiert ist und außerdem Defekte in der Mineralisation zeigt. In wieweit die produzierte Matrix sich von der normalen Dentinmatrix unterscheidet, läßt sich morphologisch nicht erfassen. Auch läßt sich nicht klären, ob diese Matrix keine Mineralisationskeime besitzt oder die Zufuhr von Mineralsalzen verhindert ist. Offensichtlich ist weiterhin, daß diese zunächst nicht volldifferenzierten Odontoblasten später aber ihre volle Reife erhalten und normales kanalisiertes und vollmineralisiertes Dentin produzieren. Die Tomes'sche Körnerschicht ist daher als erstes Produkt der nicht vollausgereiften Odontoblasten zu betrachten. Die Ursache dieser unvollständigen Dentinschicht liegt also nicht in einer Störung der Dentinbildung, sondern sie ist darin zu suchen, daß im Wurzelbereich physiologisch durch die fehlende Induktion von Seiten volldifferenzierter Ameloblasten die

Differenzierung der Odontoblasten langsamer erfolgt und diese Zellen in einer noch unreifen Phase mit der ersten Dentinbildung beginnen.

Im Gegensatz dazu ist das Interglobulardentin , das sich von der Tomes'schen Körnerschicht wesentlich dadurch unterscheidet, daß die Interglobularräume im Bereich des kanalisierten Dentins liegen und die Dentinkanäle durch die Interglobularräume hindurch gehen, als echte Störung während der Dentinentwicklung zu betrachten, bei denen die Funktion der Zellen gestört wird. Diese Störungen führen dazu, daß zwar die Dentingrundsubstanz normal angelegt wird und von den Odontoblasten auch Fortsätze ausgebildet werden, jedoch die Mineralisation ausbleibt. Ob diese Störung zu einer Entdifferenzierung der Zelle führt und die Mineralisation des von der Zelle gelieferten Produktes ein Glied in der Stufenleiter des Differenzierungsgrades ist, läßt sich aufgrund der bisherigen Kenntnisse nicht mit Sicherheit aussagen.

Daß jedoch das von den Odontoblasten gelieferte Produkt, das Dentin, abhängig vom Differenzierungsgrad und dem Funktionsgrad der Odontoblastenzelle ist, zeigten Versuche über die Neubildung von Sekundärdentin. In einer noch nicht veröffentlichten Arbeit von HARNDT und LENZ konnte nach Störung der Odontoblasten durch Vitaminmangel bis zur Nichtausbildung von Dentin gezeigt werden, daß in der Erholungsphase, d.h., nachdem wieder Vitamin C zugeführt wurde, von den Odontoblasten alle Stufen des Dentins,vom Sekundärdentin bzw. Osteodentin bis globulärem Dentin, nichtkanalisiertes Dentin bis zum normalen kanalisierten und vollständig mineralisierten Dentin gezeigt werden.

Im Vergleich zu den eigenen Befunden beweisen diese Versuche, daß sowohl die Tomes'sche Körnerschicht als auch das Interglobulardentin Ausdruck der Aktivität bzw. des Differenzierungsgrades der Odontoblasten ist.

Für die Erklärung der Entstehung der Tomes'schen Körnerschicht, die als solche als erste Phase in der Stufenleiter der möglichen Produkte der Odontoblasten betrachtet werden muß, scheint die Induktionswirkung des Schmelzepithels eine entscheidende Rolle zu spielen.

VI. Z U S A M M E N F A S S U N G

1. Die Strukturen der Tomes'schen Körnerschicht wurden licht- und elektronenmikroskopisch untersucht.

2. Die lichtmikroskopischen Untersuchungen bestätigen die bisher in der Literatur angegebenen Befunde.

3. Wie bisher konnten jedoch zu den wesentlichen Punkten bei der Auswertung der lichtoptischen Befunde keine eindeutigen Aussagen gemacht werden.

   Es sind dies:

   a) Lagebeziehung der Tomes'schen Körnerschicht zur Dentin-Zement-Grenze.

   b) Natur der Tomes'schen Körnerschicht im Vergleich zum Interglobulardentin.

   c) Beziehung der Dentinkanäle zur Tomes'schen Körnerschicht.

   d) Genese der Tomes'schen Körnerschicht.

4. Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Tomes'schen Körnerschicht ergaben eine eindeutige Beantwortung der lichtoptisch nicht geklärten Punkte.

   a) Dentin und Zement lassen sich eindeutig voneinander unterscheiden und die Grenze beider Gewebeanteile klar darstellen. Die Tomes'sche Körnerschicht liegt im Bereich des Dentins nahe der Dentin-Zement-Grenze.

   b) Die Tomes'sche Körnerschicht besteht aus einer Vielzahl von kleinen und kleinsten Interglobularräumen. Diese sind nichtmineralisierte Bezirke der Dentingrundsubstanz.

   c) Die Tomes'sche Körnerschicht liegt im Bereich des nichtkanalisierten Dentins.

d) Die Tomes'sche Körnerschicht ist das erste unvollständige Produkt der im Wurzelbereich bei Einsetzen der Dentinbildung nicht voll differenzierten Odontoblasten.

5. Die Ursachen dieser anfangs unvollständigen Differenzierung werden diskutiert und auf die Rolle der Induktionswirkung des Schmelzepithels hingewiesen.

6. Während die Tomes'sche Körnerschicht als physiologisches Gebilde betrachtet werden muß, entsteht das Interglobulardentin durch Störung der voll ausgebildeten Odontoblasten während der Dentinbildung.

VII. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

ADLOFF, P. — Tomes'sche Körnerschicht, Interglobulardentin und Vasodentin in einigen Säugetierzähnen. Zugleich ein Beitrag zur Kenntnis des Gebisses von Orycteropus und zur Stammesgeschichte dieser Tierform.
V. Jschr. Zahnheilk. 207 - 258, 1930

BENCZE, B.N. — Befunde an der Dentin-Zement-Grenze.
Z. Stomat. 25, 887 - 896, 1927

COULLIAUX, L. — Anatomie, Physiologie, Pathologie der Zahnpulpa.
Korresp.-Bl. Zahnärzt. 26, 135 - 148, 1897

CZERMAK, — Beiträge zur mikroskopischen Anatomie der menschlichen Zähne.
Z. wiss. Zool. 2, 1850
zit. nach Dickmann, 1925

DICKMANN, E. — Ein Beitrag zur Kenntnis von den sogenannten "Interglobularräumen" im menschlichen und tierischen Zahn.
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 43, 653 - 672, 1925

v. EBNER, — Histologie der Zähne mit Einschluß der Histogenese.
In: Scheff Handbuch d. Zahnheilk. Bd. 1, 1909,
zit. nach Dickmann, 1925

de FAZIO, F.
Microscopia electronica sugli spazi interglobulari della dentina coronale dell'uomo. Archivo Stomatologico 4, 341 - 351, 1963

GLASSTONE, S.
The development of tooth germs on the chick chorioallantois. J. Anat. 88, 392, 1954

GLASSTONE, S.
Experimental Studies on Calcification of Tooth Germs in vitro. J. dent. Res. 37, 738 - 747, 1958

GLASSTONE, S.
Tissue culture and tooth development. Arch. oral Biol. Supplement Proceeding of the 9th Congress of the ORCA Paris 125 - 131, 1962

GOLDBERG, F.
Die Bedeutung der Interglobularräume. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 42, 461 - 468, 1924

HANAZAWA, K.
Eine histologische Studie über die Karies des Dentins. Vjschr. Zahnheilk. 39, 417 - 488, 1923

HANNOVER,
Bau und Entwicklung des Säugetierzahnes. Verhandl. d. Kaiserl. Leop.-Carol.-Akademie der Naturforscher Bd. 25, II. Teil, 1855 zit. nach Dickmann, 1925

HELMCHE, G.H.
Formen und Strukturen der Interglobularräume. Inaugural-Dissertation, FU Berlin, 1966

KÖLLIKER, Handbuch der Gewebelehre. Leipzig, 1852 zit. nach Dickmann, 1925

KOLLMANN, Die Interglobularräume in der Substantia eburnea der Zähne. Sitzungsber. d. Kgl. bayer. Akad. d. Wissensch. München, mathem. physiol. Kl. 1869 zit. nach Dickmann, 1925

LENZ, H. Elektronenmikroskopische Untersuchungen der organischen Matrix des Schmelzes und des Dentins. Mikroskopie 13, 75 - 82, 1958

LENZ, H. Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Dentinentwicklung. Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 30, 367 - 381, 1959

Mc QUILLEN, Die Interglobularräume im Dentin The dental Cosmos, 1866 zit. nach Dickmann, 1925

MEYER, W. Über die sog. Interglobularräume des Dentins. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 19, 175 - 179, 1924

MEYER, W. Lehrbuch der normalen Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen. Hanser-Verlag, München, 1951

MEYER, W. Histologie der Zähne und des Gebisses. In: Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Bd. 1, 253 - 296, Verlag Urban & Schwarzenberg, München/Berlin, 1958

MORGENSTERN, M.

Beitrag zur Histogenese der Interglobularräume unter besonderer Berücksichtigung des Verzahnungsprozesses des Zahnbeines.
Schweiz. Vjschr. Zahnheilk. 7, 1 - 28, 1897

MORGENSTERN, M.

Einige überraschende zahnhistologische Tatsachen.
Dtsch. Mschr. Zahnheilk., 1906
zit. nach Dickmann, 1925

NYLEN, M.U. and SCOTT, D.B.

An electron microscopic study of the early stage of dentinogenesis.
Publication No. 613, Washington, D.C., 1958, Sup't. of Documents, U.S. Gov't., Printing Office

NYLEN, M.U. and SCOTT, D.B.

Electron Microscopic Studies of Odontogenesis.
(The Journal of the Indiana State Dental Ass.)
J. Indiana dent. Ass. 39, 406 - 421, 1960

REITH, E.J.

Ultrastructure Aspects of Dentinogenesis.
In: N.B.B. Symons Dentine and Pulp. Their structure and reactions.
D.C. Thomson and Co. Ltd., Dundee, Scotland, 19 - 24 , 1968

RUDAS, G.

Aus dem Gebiet des erkrankten und gesunden Zahnes.
3. Teil, Sitzungsber. d. med. naturwissenschatfl. Sektion d. siebenbürgischen Museumsvereins, Bd. 18, 1893
zit. nach Dickmann, 1925

RUDAS, G.

Interglobularfelder und Körnerschicht.
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 10, 449 - 454, 1901

SCHOUR, I. Noyes' Oral Histology and Embryology. 8. Aufl., Lea & Febiger, Philadelphia, 1960

SELVIG, K.A. Electron microscopic of Hertwig's epithelial sheath and of early dentin and cementum formation in the mouse incisor. Acta. odont. Scand. 21, 175 - 206, 1963

SICHER, H. Orban's oral Histology and Embryology. 5. Aufl., The C.V. Mosby Comp., St. Louis, 1962

TOMES, Ch.S. A manul of Dental Anatomy. J. & L. Churchill, London, 1904

WALDEYER, Bau und Entwicklung der Zähne. In: Strickers Handbuch der Lehre von den Geweben, Leipzig, 1871 zit, nach Dickmann, 1925

WALKHOFF, O. Normale Histologie der menschlichen Zähne. Leipzig, 1901 zit. nach Dickmann, 1925

WALKHOFF, O. Die normale Histologie menschlicher Zähne. 2. Aufl., Verlag A. Felix, Leipzig, 1924

Für die freundliche Überlassung des Themas danke ich Herrn Professor Dr. H. L E N Z sehr. Die während meiner Untersuchungen und bei der Abfassung der Arbeit gerne und häufig gegebenen Anregungen waren mir, ebenso wie die fruchtbaren Diskussionen, eine wertvolle Hilfe.

Dem Bundesminesterium für Wissenschaft und Forschung bin ich für die gewährte Unterstützung dankbar.

Außerdem möchte ich mich bei Fräulein H. L I N D N E R für die Mithilfe herzlich bedanken.

L E B E N S L A U F

Am 11. Februar 1940 wurde ich als Sohn des Professors Lee-Kou Kung und seiner Ehefrau Man-Sha Tsai in Anhwei/China geboren.

Nachdem ich 1947 ein Jahr die Grundschule in Anhwei besucht hatte, zogen meine Eltern vom Festland Chinas nach Taipei/Taiwan. Dort besuchte ich bis 1953 die Grundschule und anschließend das Gymnasium, wo ich 1959 die Reifeprüfung ablegte. 1960 bis 1966 studierte ich an der National Taiwan University Zahnmedizin, schloß das Studium mit dem Staatsexamen ab und erwarb den Grad eines Bachelor of Medicine (B.M.), der dem D.D.S. entspricht.

Seit dem Herbst 1966 bin ich in Berlin, Um die erforderlichen Sprachkenntnisse für eine Promotionsarbeit zu erwerben, belegte ich an der philosophischen Fakultät der Freien Universität Berlin Kurse in "Deutsch für Ausländer" und bestand nach Absolvierung des Oberkurses 1968 die Abschlußprüfung. Seit dem 1. November 1968 bin ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kariesforschung e.V. Berlin tätig.

ABBILDUNGEN

Abb. 1 - 4 zeigen die Tomes'sche Körnerschicht an einem Dünnschliff im Durchlicht bei verschiedenen lichtoptischen Vergrößerungen.

Abb. 1: Die "Körner" der Tomes'schen Körnerschicht erscheinen im Durchlichtpräparat schwarz.
LM: 75 : 1.

Abb. 2: Bei verschiedenen Dentinkanälchen hat man den Eindruck, als ob sie in Ausweitungen enden. Die Dentin-Zement-Grenze ist nicht klar erkennbar.
LM: 100 : 1.

Abb. 3: Verschiedene Dentinkanälchen scheinen durch die einzelnen Körner hindurchzugehen. Die Körner sind nicht alle klar als Interglobularräume zu erkennen.
LM: 400 : 1.

Abb. 4: Die Tomes'sche Körnerschicht scheint im Bereich des kanalisierten Dentins zu liegen. Der Inhalt der Körner ist nicht zu definieren.
LM: 1000 : 1.

LM = Lichtmikroskopische Vergrößerung.

Abb. 5, 10 - 18 sind elektronenmikroskopische Aufnahmen von nichtentmineralisierten Dünnschnitten aus dem Dentin im Bereich der Tomes'schen Körnerschicht menschlicher Zähne.

Abb. 5 : Übersichtsaufnahme von der Dentin-Zement-Grenze im Wurzelbereich. Zement (Z) und Dentin (D) sind klar voneinander zu unterscheiden.
EM: 2500 : 1, GV: 5000 : 1.

Abb. 6 und 7: Vergleichsaufnahme von azellulärem Zement (Abb. 6) und dem zirkumpulpären Dentin (Abb. 7) bei starker Vergrößerung.
EM: 23 000 : 1, GV: 46 000 : 1.

Abb. 8: Normales kanalisiertes Dentin aus dem Wurzelbereich pulpenwärts von der Tomes'schen Körnerschicht.
EM : 2000 : 1, GV: 4600 : 1.

Abb. 9: Nichtkanalisiertes Dentin nahe der Dentin-Zement-Grenze bei gleicher Vergrößerung wie Abb. 8. Im nichtkanalisierten Dentin sind, wie auch auf der Abb. 5 Mineralisationsunterschiede zu erkennen.
EM: 3000 : 1, GV: 6000 : 1.

Abb.10: Nichtkanalisiertes Dentin nahe der Dentin-Zement-Grenze bei starker Vergrößerung. Um die als Globuli anzusprechenden Bereiche sind minderminerali sierte Säume zu erkennen.
EM: 24 000 : 1, GV: 72 000 : 1.

Abb.11: Nichtkanalisiertes Dentin wie Abb. 9, jedoch 200 - 300 y pulpenwärts. Der globuläre Eindruck des Dentins kommt stark zur Geltung, da die minderminerali sierten Säume breiter sind und teilweise, wie im oberen Teil des Bildes erkennbar, zu nichtminderalisierten Spalträumen geworden sind.
EM: 3000 : 1, GV: 9000 : 1.

Abb. 12 - 18: Nichtkanalisiertes Dentin im Vergleich zu den Abb. 9 - 11, weiter pulpenwärts aus dem Bereich der lichtoptischen erkennbaren Tomes'schen Körnerschicht.

Diese Schicht ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von nichtmineralisierten Räumen, die aufgrund ihrer Begrenzungslinien als typische Interglobularräume anzusprechen sind, je nach Anzahl und Größe der angrenzenden Globuli ergeben sich Interglobularräume von unterschiedlicher Größe und Gestalt, die in ihrer Gesamtheit die Tomes' sche Körnerschicht bilden. Nichtmineralisierte Dentingrundsubstanz bildet den Inhalt der Räume.

Abb. 12: EM: 8000 : 1, GV: 28 000 : 1

Abb. 13: EM: 6000 : 1, GV: 21 000 : 1

Abb. 14: EM:10000 : 1, GV: 23 000 : 1

Abb. 15: EM:15000 : 1, GV: 36 000 : 1

Abb. 16: EM:10000 : 1, GV: 35 000 : 1

Abb. 17: EM:20000 : 1, GV: 44 000 : 1

Abb. 18: EM:20000 : 1, GV: 50 000 : 1

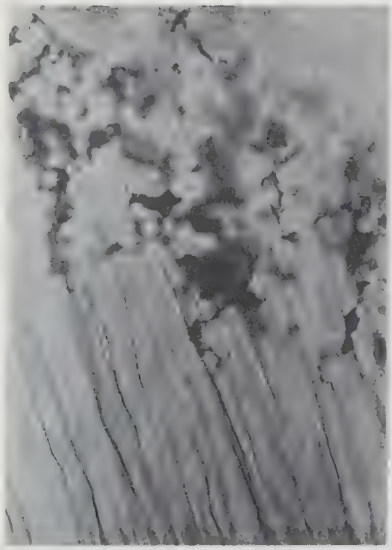
EM: Elektronenmikroskopische Vergrößerung

GV: Gesamtvergrößerung

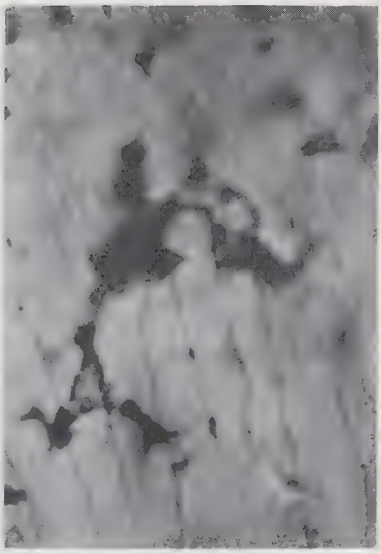
Abb. 19: Dünnschnitt eines Zahnkeimes bei Beginn der Dentinbildung im Kronenbereich. Unter den Ameloblasten (A) ist von den Odontoblasten (O) in dieser Phase bereits eine 20 y dicke Prädentinschicht (PD) gebildet worden, die zu mineralisieren beginnt. Von den Odontoblasten im Kronenbereich werden im Gegensatz zum Wurzelbereich Odontoblastenfortsätze ausgebildet, die bis auf wenige y an die künftige Schmelz-Dentin-Grenze reichen.
GV: 2400 : 1.

1

2



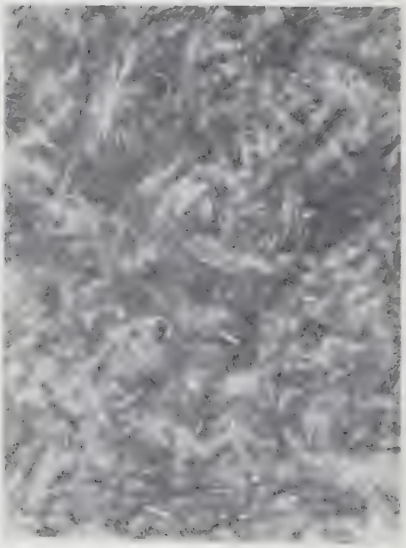
3



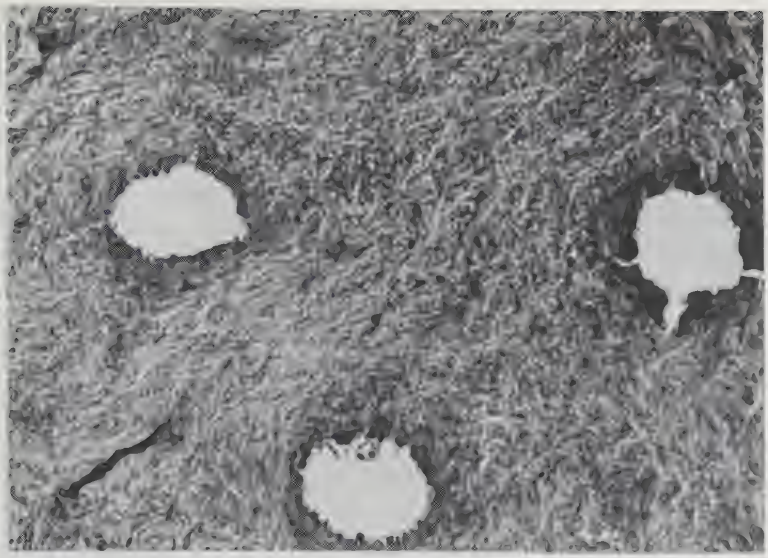
4

5

6



7

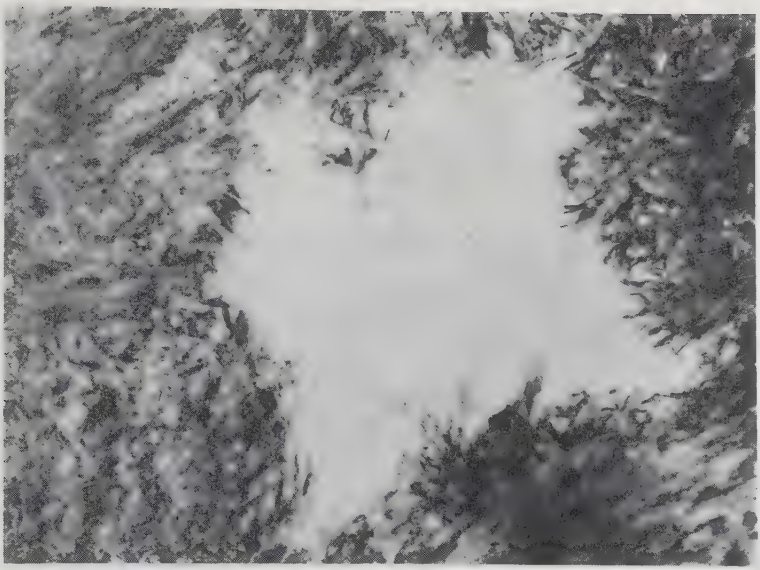


8

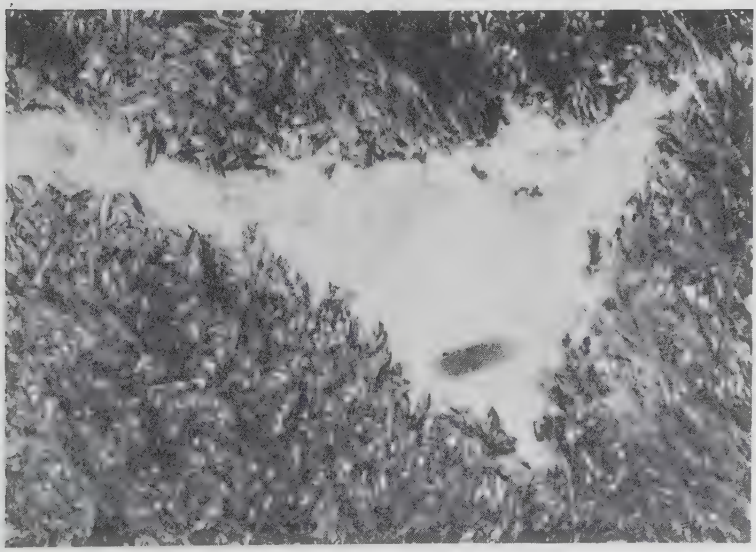
9

10

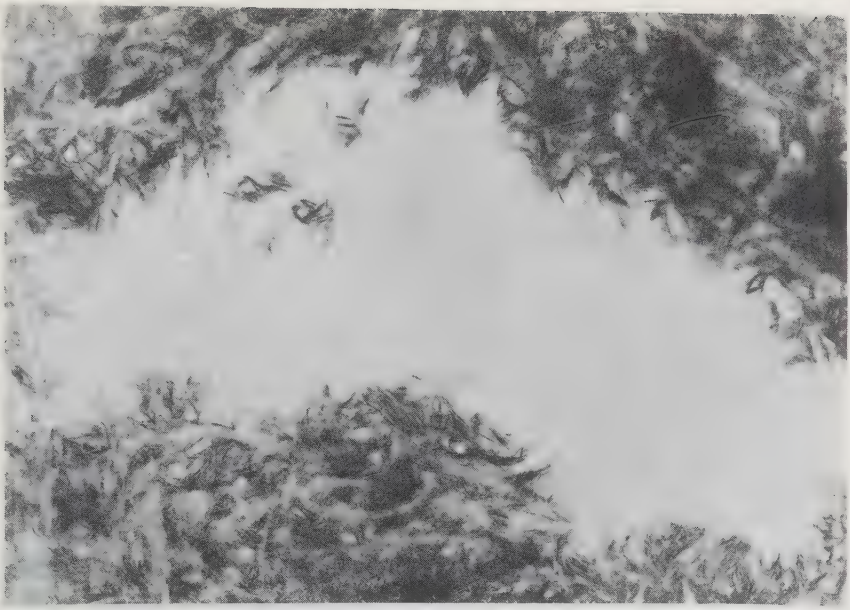
11



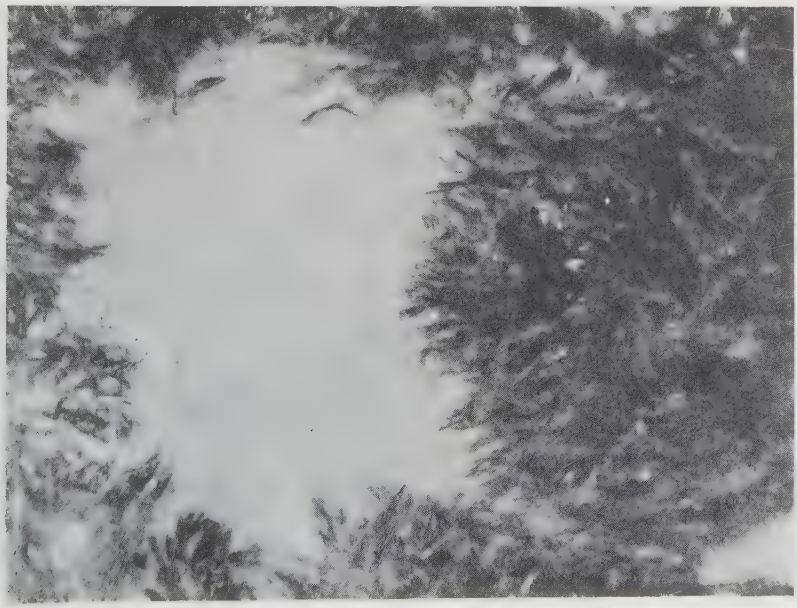
12



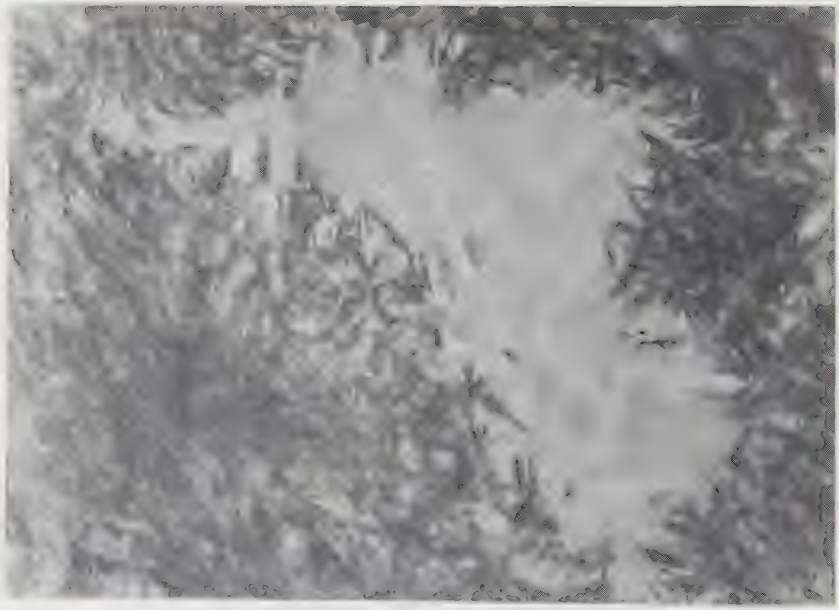
13



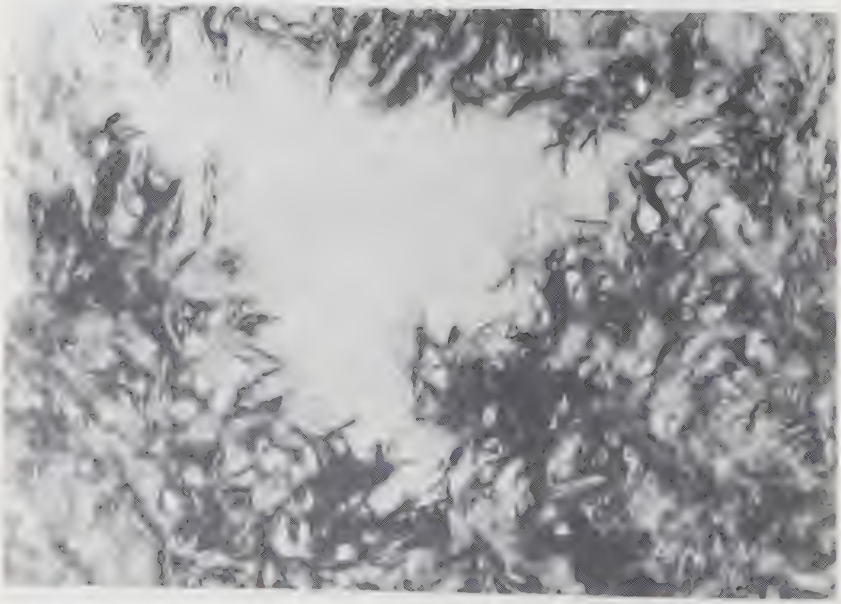
15



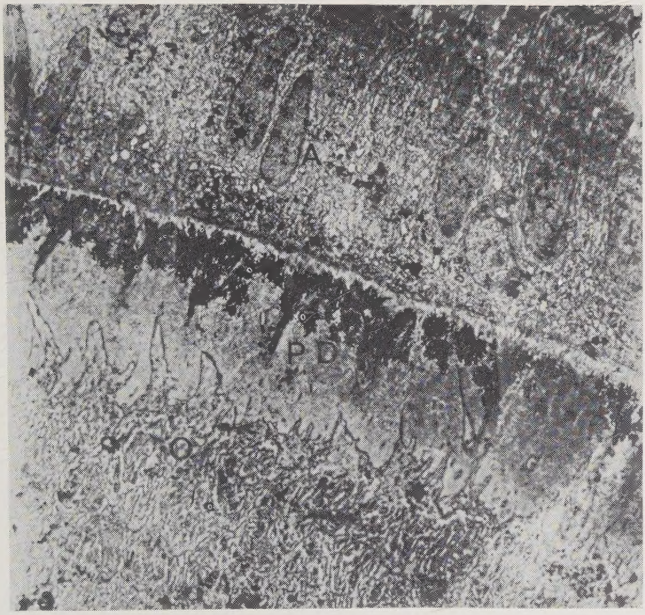
16



17



18



19